



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

OLLI MÄKINEN
SOLIDWORKS-OHJELMISTON MBD -SOVELLUKSEN KÄYTTÖ
TEKNISEN TUOTEMÄÄRITTELYN KUVAAMISESSA

Kandidaatintyö

TIIVISTELMÄ

Olli Mäkinen: SolidWorks-ohjelmiston MBD -sovelluksen käyttö teknisen tuotemäärittelyn kuvaamisessa
Tampereen teknillinen yliopisto
Kandidaatintyö, 31 sivua
Lokakuu 2018
Konetekniikan Kandidaatin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Kone- ja tuotantotekniikka
Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Ilari Laine

Avainsanat: SolidWorks, malliperustainen tuotemäärittely, tekninen piirustus

Malliperustainen tuotemäärittely on tapa esittää tuotteen vaadittavat geometria- ja valmistustiedot tuotteesta luotuun kolmiulotteiseen malliin liitettynä. Tavalla on tarkoitus määrittellä tuote täydellisesti pelkän kolmiulotteisen mallin avulla siten, että erillistä teknistä piirustusta ei tarvitse luoda.

Työssä keskitytään siihen, kuinka malliperustainen tuotemäärittely on mahdollista tuottaa ja esittää SolidWorks-ohjelmiston Model-based definition sovelluksella. Sovelluksen eri osa-alueet käydään läpi luomalla esimerkinomaiselle testikappaleelle tarvittavat annotaatiotasot, sekä tämän jälkeen lisäämällä näille tasoille kappaleen geometriatiedot ja toleranssimerkintöjä. Tuotetut geometria- ja toleranssitiedot esitellään kaikissa tiedostomaateissa, joihin SolidWorksissä luotuja malliperustaista tuotemäärittelytietoa voidaan julkaista.

Luotua malliperustaista tuotemäärittelytietoa verrattiin samasta testikappaleesta luotuun tekniseen piirustukseen niin dokumentin luomisprosessin, luettavuuden ja yleisen käytettävyyden näkökulmista. Näissä vertailuissa todettiin, että MBD:llä tuotemäärittelyn luominen on hitaampaa, kuin teknisen piirustuksen luominen, mutta käytettävyydeltään ja luettavuudeltaan lähes kaikessa parempi.

ABSTRACT

Olli Mäkinen: Use of SolidWorks MBD software to define product and manufacturing information

Tampere University of Technology

Bachelors Thesis, 31 pages

October 2018

Bachelor Program in Mechanical engineering

Major: Mechanical and Production Engineering

Examiner: University Teacher Ilari Laine

Keywords: SolidWorks, model-based definition, engineering drawing

Model-based definition is a way to present required geometry and manufacturing information of a product by attaching it to a 3D-model of the product. The method aims to define the product fully using only the 3D-model, eliminating the need for a separate engineering drawing.

This work focuses on how model-based definition can be made and presented using SolidWorks Model-Based Definition software. The different aspects of the software are explored by adding required annotation views, geometry information and tolerances to a test model. The created information is then presented in all the formats that SolidWorks supports.

Model-based definition data was compared to an engineering drawing made from the same test model. Creation process, legibility and overall usability were compared. Comparison concludes that model-based definition takes longer to create using SolidWorks, but the result is much easier to read and otherwise more versatile from a usability standpoint.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY.....	2
3.	SOVELLUKSEN OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ	4
3.1	Käyttöä edeltävät vaatimukset	4
3.2	Annotaatiotasojen luominen.....	6
3.3	Mallia määrittävät merkinnät ja annotaatiot.....	9
3.4	Kuvausmenetelmät	17
3.5	Tiedon esittäminen ja julkaisu.....	21
4.	EROAVUUDET KAKSIULOTTEISIIN PIIRUSTUKSIIN.....	25
4.1	Dokumentaation luomisen erot	25
4.2	Teknisen tuotemäärittelyn esittämisen erot.....	27
4.3	Yleinen käytettävyys	28
5.	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET.....	31

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Acrobat Reader DC	Adoben julkaisema ilmaisohjelma PDF-tiedostojen avaamiseen
ASME	Yhdysvaltalainen standardisoimisyhdistys
ISO	kansainvälinen standardisoimisjärjestö
MBD	engl. Model-Based Definition, SolidWorksin sisäinen ohjelma
METSTA	metalliteollisuuden standardisointiyhdistys
PDF	engl. Portable Document Format, tiedostoformaatti
SolidWorks	Dassault Systèmesin julkaisema mekaniikkasuunnitteluohjelma
STEP	Standardi mallipohjaisen informaation jakamiseksi

1. JOHDANTO

Tuotteiden tekninen tuotemäärittely on tärkeää, jotta suunnittelijan ideat ja tavoitteet tuotteelle päätyvät myös halutulla tavalla lopulliseen tuotteeseen. Tuotemäärittelytiedon dokumentoinnilla voidaan todentaa tuotteiden oikea valmistus ja yhteensopivuus muihin tuotteisiin. Esitysmuodon on tarkoitus olla universaali ja ymmärrettävissä tarkasti ilman väärinkäsityksiä. Tämä dokumentointi on perinteisesti toteutettu piirtämällä tarvittava tieto paperille.

Ilmailu- ja autoteollisuus olivat ensimmäisiä käyttämään tietokoneiden kasvanutta tehoa suunnittelun apuna 1950- ja 1960- lukujen vaihteessa (Peddie 2013, s. 40). Tietokoneet mahdollistivat helpon tavan visualisoida tuotteita digitaalisesti kolmiulotteisilla malleilla. Samalla tekninen tuotemäärittely pystyttiin piirtämään myös digitaalisina kuvina.

Suurin osa suunnittelusta tehdään nykyään luomalla tuotteista kolmiulotteinen malli eri tietokoneohjelmilla ja teknisistä piirustuksista on muodostunut sivutuote tuotteen määrittelyssä (Quintana et al. 2010, s. 497). Tästä syystä kaksiulotteisten piirustusten vaihtoehtoksi on viime vuosikymmenenä kehitetty tapa esittää tekninen tuotemäärittelytieto suoraan tuotteesta tehdyssä mallissa. Tätä kutsutaan malliperustaiseksi tuotemäärittelyksi.

Työn tarkoituksena on selvittää, mitä malliperustainen tuotemäärittely on ja erityisesti, kuinka tämä on toteutettu SolidWorks Model-Based Definition (MBD) -sovelluksessa. Ohjelmistosta tutkittiin vuoden 2017 versiota. Lisäksi vertailtiin malliperustaista tuotemäärittelyä teknisiin piirustuksiin vaihtoehtoisena tapana esittää tuotemäärittelytietoa.

Toinen luku työssä selvittää, mitä mallipohjaisella tuotemäärittelyllä tarkoitetaan yleisesti ja mitä standardeja sille on luotu. Standardien päävaatimukset selostetaan. Luvussa 3 selvitetään, kuinka MBD-sovellus toimii ja mitä ominaisuuksia sillä on. Ominaisuudet selvennetään lisäämällä sovellusta käyttäen SolidWorksillä mallinnettuun kappaleeseen tuotemäärittelytiedot sekä esittämällä informaatio kaikissa eri esitysmuodoissa. Tämän jälkeen luvussa 4 verrataan mallipohjaista tuotemäärittelyä perinteiseen kaksiulotteiseen esitystapaan yleisellä tasolla sekä verraten luvussa 3 MBD:lla tehdyn tuotemäärittelyn tulosta samasta tuotteesta tehtyyn kaksiulotteiseen kuvaukseen. Lopuksi luvussa 5 koetaan yhteen tehdyt johtopäätökset ja havainnot.

2. MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY

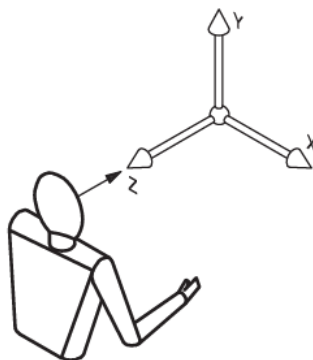
Mallipohjaisella tuotemäärittelyllä tarkoitetaan sitä, että kaikki tuotteen valmistusinformaatio esitetään suoraan digitaalisessa tuotteesta tehdyssä mallissa. Tuotteiden geometriset mitat, toleranssit, pintojen käsittelytavat ja muut annotaatiot näytetään suoraan malliin liitettynä ilman erillistä teknistä piirustusta. Tuotetiedon hallinnassa pyritään pääsemään sille tasolle, että 3D-mallia voitaisiin käyttää perustana suunnittelu ja valmistusprosesseissa, sekä yrityksen muissa toiminnoissa, kuten laadunvalvonnassa (Dassault Systèmes 2016, s. 7).

Vaikka kolmiulotteiset mallit ovat yleisin muoto esittää tuotteiden tietoja, teknisiä piirustuksia valmistetaan yhä toleranssien ja valmistusmenetelmien esittämiseksi. Teknologia on 2000-luvulla edennyt niin pitkälle, että tuotemäärittelytiedon sijoittaminen suoraan kolmiulotteisiin malleihin on mahdollista. Ensimmäisiä käyttäjiä tavalle olivat Yhdysvaltojen ilmailu- ja autoteollisuus. (Quintana et al. 2010, s. 497–498)

Näiden alojen aloitteesta malliperustaiselle tuotemäärittelylle luotiin American Society of Mechanical Engineersin (ASME) luoma standardi, jotta käytännöt yhtenisivät eri esitystapojen välillä (ASME Y14.41 2003). Standardisointi mahdollistaa myös helpomman mallipohjaisen tuotemäärittelyn käytön integroinnin muilla teollisuuden aloilla. Standardi on tämän jälkeen käännetty myös kansainvälisen standardoimisjärjestön (ISO) vaatimukseen soveltuviksi. Viimeisin versio standardista on vuodelta 2016, ja siitä on olemassa myös suomenkielinen versio (SFS-ISO 16792 2016). ISO-standardi on luotu siten, että mahdollisimman suuri osuus siitä on muiden teknisiä piirustuksia koskevien standardien kanssa yhteensopiva ja sisältääkin paljon viittauksia muihin standardeihin.

Tutkimuksessa keskitytään ISO-standardiin, ja mitä vaatimuksia se asettaa kolmiulotteisten mallien vaatimuksiin. Digitaalisen tuotemäärittelytiedon, tai toisin data-aineiston, yhtäläisyydet teknisiin piirustuksiin näkyy vaadittavissa perustiedoissa. Data-aineistosta täytyy sisältää täydellinen tuotemäärittelytieto. Tähän kuuluvat muun muassa suunnittelumalli, siihen liittyvät annotaatiot, kuten geometriatiedot ja toleranssit ja muut valmistukseen liittyvät lisätiedot. Täydellisellä tuotemäärittelytiedolla tarkoitetaan myös sitä, että kaiken datan pitää viitata juuri kyseiseen malliin. Tämän lisäksi perustiedoista täytyy löytyä muuta yleistä tietoa, kuten data-aineiston omistaja, nimi ja hyväksymispäivämäärä sekä tekijän nimi ja valmistuspäivämäärä. Valmiissa data-aineistossa täytyy olla myös viite kyseiseen standardiin, johon se perustuu.

Mallin kuvaamiseen ja siihen liittyvien annotaatioiden asettelua koskevat säännöt on luotu siten, että data-aineisto olisi mahdollisimman helppolukuinen. Data-aineistoissa mallien yhteydessä täytyy olla kuvattuna komiulotteinen koordinaatisto, johon geometristen piirteiden suuntia voidaan verrata. Kuten yleisesti ISO-standardeja noudattavissa teknisissä piirustuksissa, koordinaatiston on oltava oikeankätinen, ellei toisin määrätä (SFS-ISO 16792 2016, s. 11). Kyseinen koordinaatisto on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Oikeankätisen koordinaatiston tunnistaminen (SFS-ISO 16792 2016, s. 12)

Oikeakätinen koordinaatisto mahdollistaa mallien kuvaamisen kaksiulotteisina profiileina samalla tavalla kuin teknisissä piirustuksissa. Kaikki mallit kuvataan data-aineistossa käyttäen mittasuhdetta 1:1. Mallien annotaatiot on asetettava siten, että ne ovat aina joko yhtenevällä tasolla tai kohtisuorassa viitattavaan kohteeseen. Jos viitattava kohde ei ole minkään pääkoordinaatistotason suuntainen, on ilmaistava suunnan riippuvuus pääkoordinaatistosta. Kaikki erilliset huomautukset ja merkinnät, jotka viittaavat koko malliin, pitää sijoittaa erilliseen tilaan siten, että mallin orientaatio ja kuvaussuunta eivät vaikuta niihin.

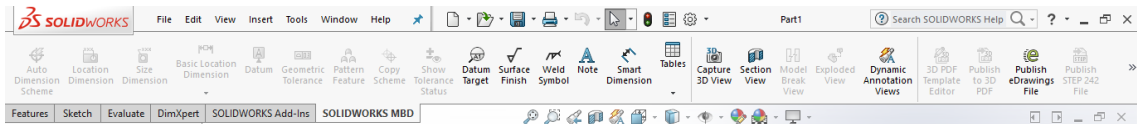
Kuvattaessa mallia valitaan yksi suunta, josta parhaiten näkyvät kaikki vaadittavat annotaatiot. Tästä kuvaussuunnasta mallia tutkittaessa kaikkien annotaatiotekstien on oltava näkyvissä. Annotaatiotekstit on kaikki kirjoitettava siten, että ne eivät ole mallin päällä sekä tekstit eivät ole limittäin toistensa päällä. Kun mallia käännetään, pitää kaikkien annotaatioiden kääntyä pysyen samassa asennossa viittaavaansa tasoon nähden. Käännettäessä tekstien pitää myös kääntyä siten, että ne ovat aina luettavissa. Kolmiulotteisessa mallissa saattaa olla paljon annotaatioita, joten data-aineistossa pitää olla mahdollisuus näyttää vain tiettytyyppiset annotaatiot. Esimerkiksi mallista voidaan näyttää pelkät geometriset mitat tai pinnanviimeistelyyn liittyvät annotaatiot.

3. SOVELLUKSEN OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ

Model-based definition (MBD) on Dassault Systèmesin vuonna 2015 julkaisema sovellus tietokoneavusteisen suunnittelun ohjelmalle SolidWorks (Dassault Systèmes 2016, s. 2). Sen tarkoituksena on mahdollistaa SolidWorksilla luotujen mallien esitys malliperustaisen tuotemäärittelyn standardien mukaisissa esitysmuodoissa. MBD ei ole ensimmäinen SolidWorksiin luotu ohjelma, joka pystyy käsittelemään kolmiulotteisia piirustuksia ja malliperustaista tuotetietoa. Ohjelma eDrawings mahdollistaa monen eri tiedostomuodon kolmiulotteisten piirustusten lukemisen, ja DimXpert mahdollistaa tuotetietojen esittämisen mallissa (Dassault Systèmes 2016, s. 6). MBD käyttää samoja työkaluja tuotetietojen esittämiseen kuin DimXpert, mutta lisäksi sisältää mahdollisuuden muun muassa leikkauskuvien ja pinnan ominaisuuksien ilmaisemiseen. Tämän lisäksi ohjelmalla voidaan luoda ja tallentaa tiedosto halutussa esitysmuodossa.

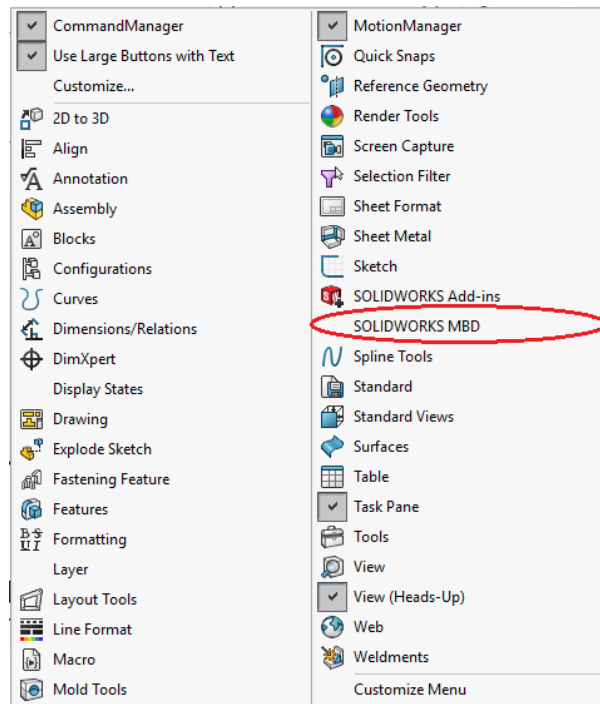
3.1 Käyttöä edeltävät vaatimukset

MBD on SolidWorksiin erikseen ostettava lisäohjelma. Toisin kuin muut lisäosat, sitä ei tarvitse erikseen aktivoida asetuksista, vaan sille on asennettu pikakuvake työkalupalkin välilehtiin. Ohjelman sijainnin näkee kuvasta 2.



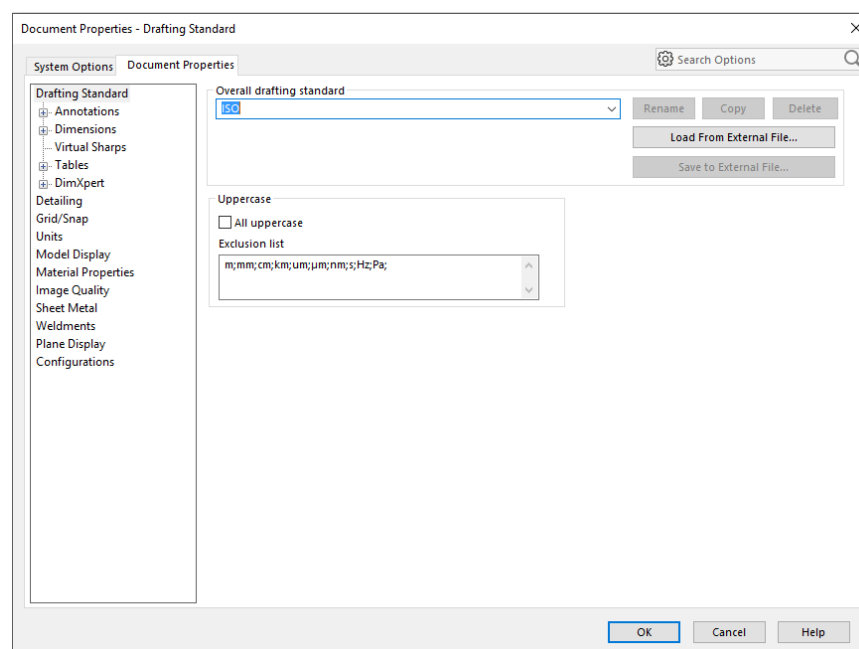
Kuva 2. SolidWorksin työkalupalkki, jossa MBD on avattuna

Jos ohjelma jostain syystä ei ole työkalupalkissa, se saadaan sinne uudestaan painamalla hiiren oikealla painikkeella työkalupalkkia mistä tahansa kohdasta. Tämä avaa kuvan 3 näköisen valikon, josta painamalla SOLIDWORKS MBD -painiketta, avautuu MBD uudelleen työkalupalkkiin.



Kuva 3. Työkalupalkin valikko, jossa SolidWorks MBD on ympyröity punaisella

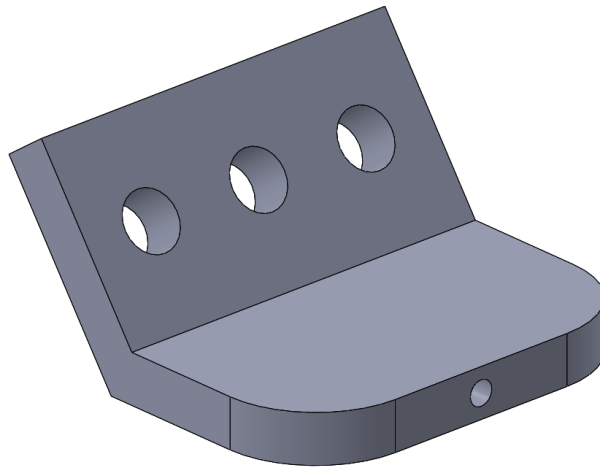
Ohjelman hankkimisen jälkeen täytyy muuttaa SolidWorksin asetuksia, jotta sovellusta voidaan käyttää halutulla tavalla. SolidWorksin perusasetuksia voidaan muuttaa painamalla kuvan 2 ylhäällä olevaa rattaan kuvaketta. Avautuva valikko on esitetty kuvassa 4. Valikosta pitää muuttaa kohtaan Overall drafting standard haluttu standardi, joka määrittää minkälaisilta SolidWorksin tuottamat merkinnät näyttävät.



Kuva 4. SolidWorksin valikko yleisen standardin määrittämiseksi

Tässä työssä käytettäväksi valitaan ISO-standardi, koska se on Suomen metalliteollisuuden standardisointiyhdistyksen (METSTA) suosittelema standardi (Rapinoja 2016, s. 17). Näiden toimenpiteiden jälkeen MBD on toimintavalmis. Kuitenkin, kuten kuvasta 1 nähdään, suurin osa MBD:n ominaisuuksista on yhä väritetty harmaalla, joka tarkoittaa, että niitä ei voida vielä hyödyntää. Nämä ominaisuudet avautuvat, kunhan on mallintanut kappaleen, johon merkintöjä ja annotaatioita aikoo lisätä.

Koska kappaleiden mallintaminen ei ole tämän työn pääasia, MBD:n ominaisuuksien esittämiseksi on tätä työtä varten luotu valmiiksi yksinkertainen testikappale, joka on esillä kuvassa 5. Testikappale on luotu siten, että sen avulla voidaan esitellä suurin osa MBD:n ominaisuuksista. Kappaleiden mallintamisessa kannattaa kuitenkin huomioida miten eri piirteet tultaisiin valmistamaan, jotta MBD osaa paremmin mitoittaa piirteet.



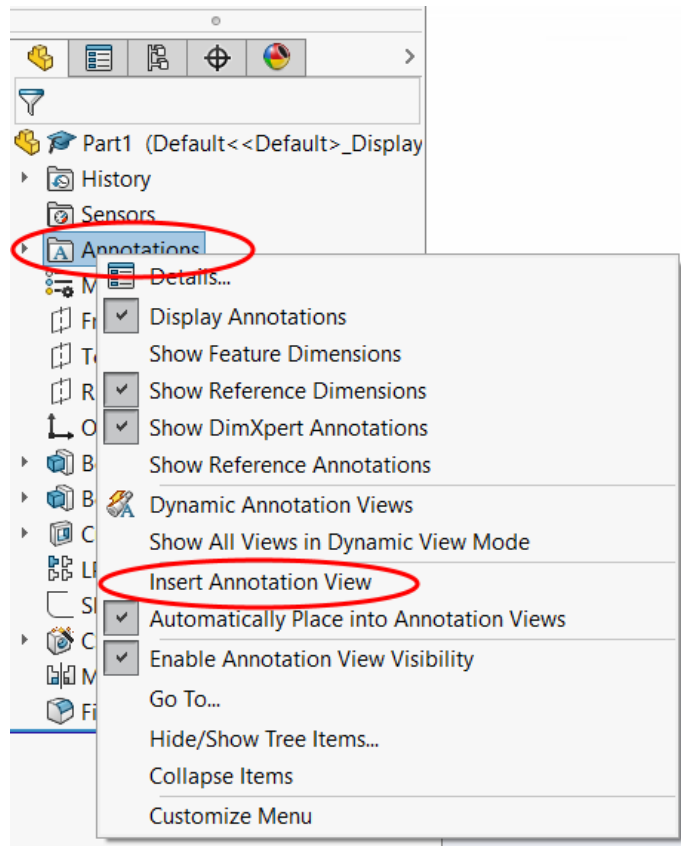
Kuva 5. Testikappale MBD:n ominaisuuksien esittämiseksi

3.2 Annotaatiotasojen luominen

Kappaletta mallintaessa on hyvä ajatella, miten päin valmis kappale esitetään. Kappaleilla, joilla on selvä ylä- sekä alapinta, olisi hyvä mallintaa SolidWorksin top-tason suuntaisesti. Näin kun mallille merkitään annotaatiotasoja, ovat tasojen nimet niitä kuvaavia, eikä niitä tarvitse nimetä uudelleen.

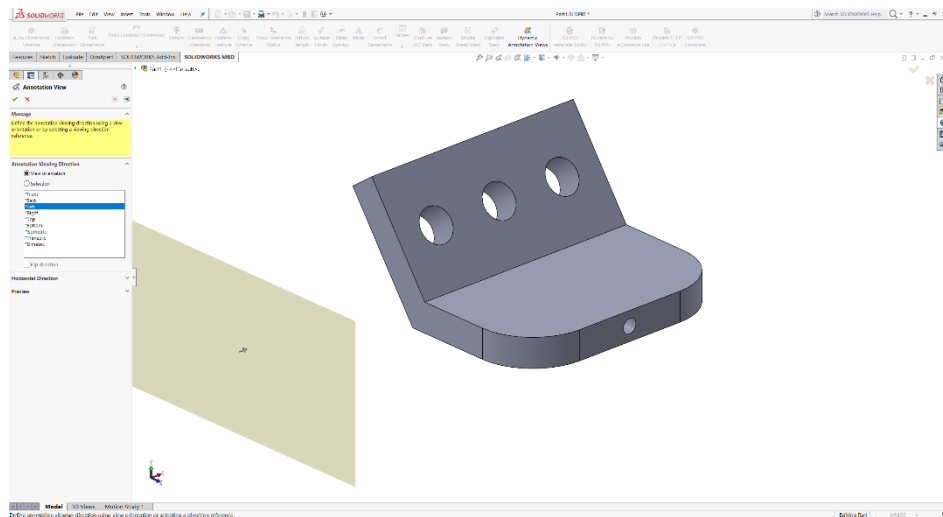
Annotaatiotasot ovat kappaleen tasoja, joiden suuntaisesti määrittäviä merkintöjä ja annotaatioita voidaan asettaa. Yleisesti kolme päätasoa ovat mallin koordinaatistoakselien rajaamien tasojen suuntaiset. Joissain kappaleissa, kuten yksinkertaisissa pyörähdyskappaleissa, kaksi annotaatiotasoa saattaa riittää kaikkien merkintöjen asettamiseen, mutta monimutkaisissa kappaleissa on mahdollista, että päätasojen lisäksi tarvitaan ylimääräisiä aputasoja.

Annotaatiotason asettaminen SolidWorksissa tapahtuu klikkaamalla oikealla hiiren näppäimellä mallipuun valikkoa Annotations ja valitsemalla tästä valikosta Insert Annotation View. Tämä on esitetty kuvassa 6.



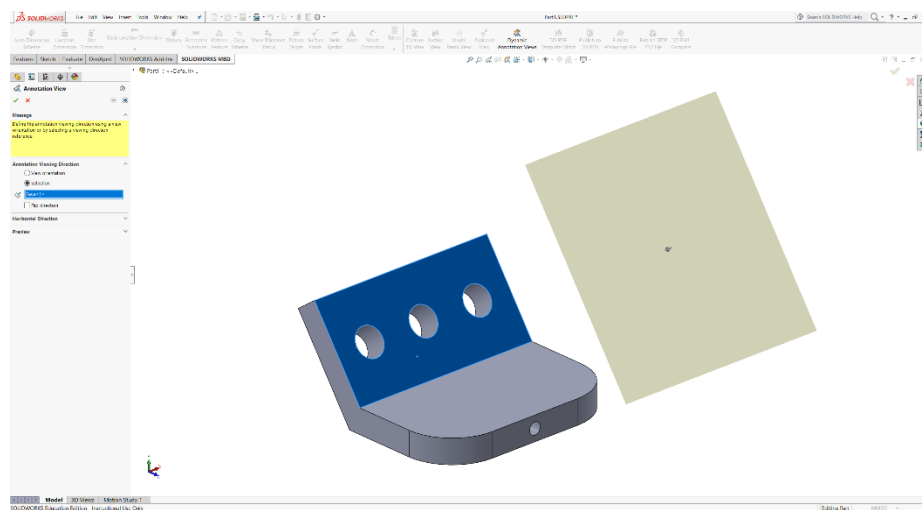
Kuva 6. Valikko Annotaatiotason lisäämiseksi

Avautuvalla työkalulla on mahdollista luoda annotaatiotasoja valitsemalla joko valmiista listasta, jossa on kaikki SolidWorksin päätasojen suuntaiset tasot, tai valitsemalla kappaleen tason, jonka suuntaisen annotaatiotason haluaa luoda. Testikappaleelle voidaan valmiista suunnista luoda annotaatiotasot etu- ylä- ja sivuprofiilille. Koska kappale on sivusuunnassa symmetrinen, ei ole väliä kumman sivuprofiilin valitsee. Kuvassa 7 on kuvattu vasemman annotaatiotason luominen ja kuvasta näkee myös, kuinka SolidWorks näyttää esikatseluna luotavan tason sunnan.



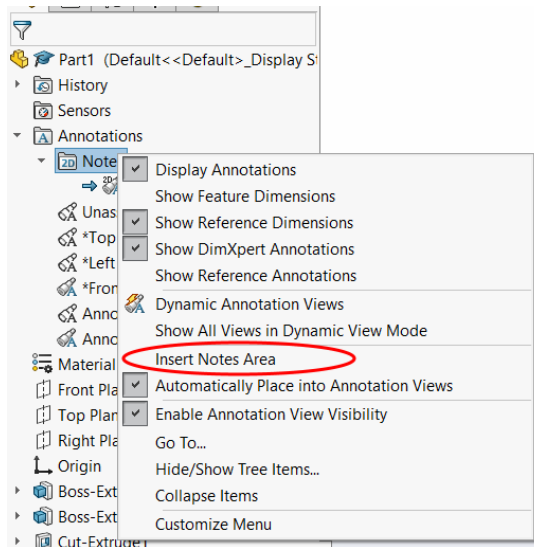
Kuva 7. *Pääkoordinaatiston suuntaisen annotaatiotason luominen*

Kaikki testikappaleen tasot eivät ole pääkoordinaatiston suuntaisia. kaikki erisuuntaiset tasot täytyy luoda manuaalisesti valitsemalla valikosta View Orientation tilalle Selection. Tällä asetuksella voidaan kappaleesta valita mikä tahansa taso hiiren vasemmalla näppäimellä, jolloin SolidWorks luo esikatselun kyseisen tason suuntaisesta tasosta. Kuvassa 8 on luotu testikappaleen vinon tason suuntainen annotaatiotas.



Kuva 8. *Vapaavalintaisen tason asettaminen annotaatiotasoksi*

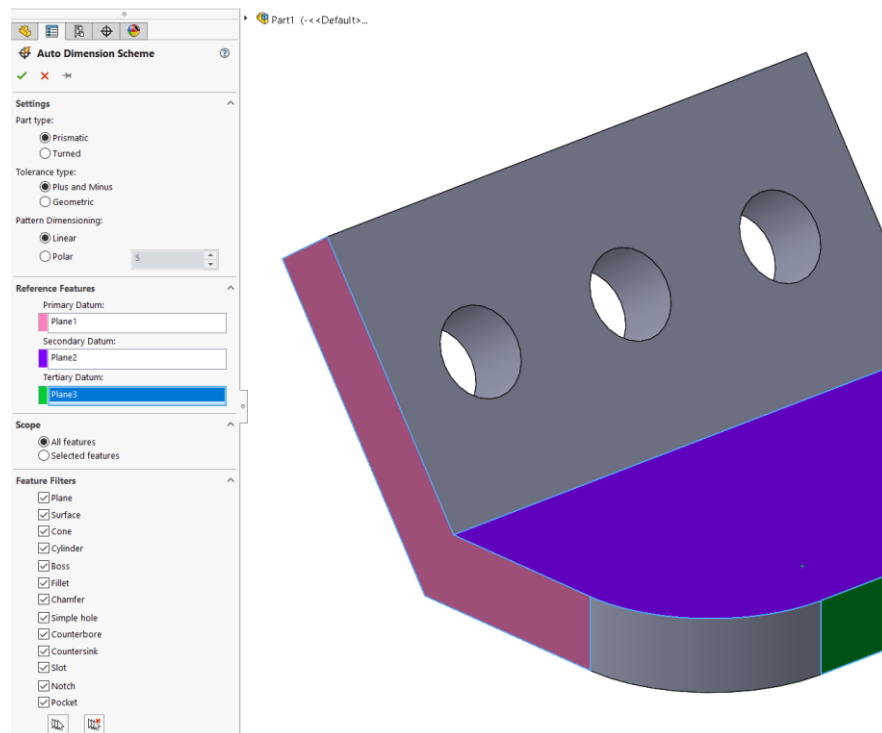
Osa annotaatioista voidaan haluta asettaa koskemaan koko kappaletta. Tällaiset annotaatiot on hyvä asettaa tasolle, jonka orientaatio ei riipu kappaleen asennosta. Kuvassa 9 on ympyröity valikko, josta painamalla luodaan staattinen annotaatiotas. SolidWorks nimeää tason automaattisesti, mutta sen nimeä voidaan myöhemmin vaihtaa painamalla sen kuvaketta kahdesti.



Kuva 9. Staattisen annotaatiotason luominen

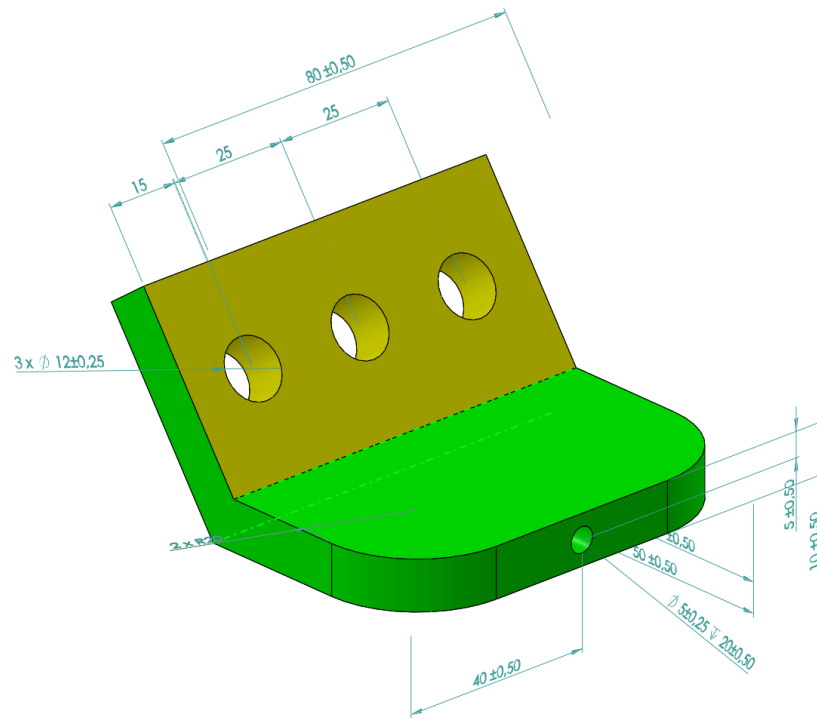
3.3 Mallia määrittävät merkinnät ja annotaatiot

Annotaatiotasojen luomisen jälkeen voidaan sijoittaa vaadittavat annotaatiot kappaleeseen MBD:llä. Yksinkertaisin tapa lisätä kappaleen Geometriatiedot on käyttää työkalua Auto Dimension Scheme. Työkalun asetuksista pitää ohjelmalle ilmoittaa koostuuko kappale suorista pinnoista vai onko se pyörähdyskappale, millä tavalla toleranssit ilmoitetaan, sekä ovatko mahdolliset toistuvat piirteet lineaarisia vai pyöräytettyjä. Kuvasta 10 nähdään asetukset testikappaleelle.



Kuva 10. Testikappaleen geometriatiedon asettaminen automaattityökalulla

Pääasetusten jälkeen MBD pyytää käyttäjää osoittamaan testikappaleesta kolme toisiaan nähden kohtisuoraa tasoa, jotka toimivat referenssitasoina. Lisäasetuksina työkalulla voidaan halutessa valita kappaleesta vain tietyn alueen, johon geometriatiedot lisätään, sekä poistaa piirretyypit, joita ei mitoiteta. Kun nämä asiat on syötetty, voidaan toiminto hyväksyä. Testikappaleelle automaattityökalulla saadut geometriatiedot näkyvät kuvassa 11.

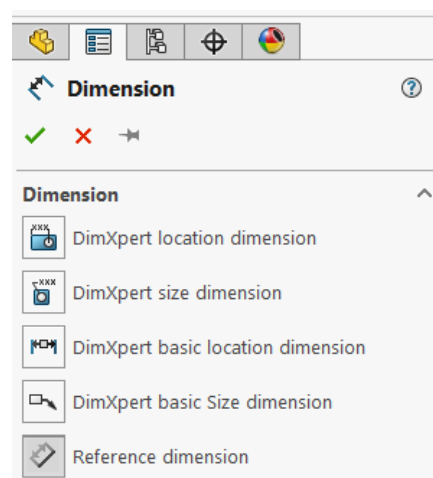


Kuva 11. Automaattityökalun luomat geometriatiedot testikappaleesta

Automaattityökalun käytön jälkeen MBD asettaa automaattisesti tarkistustoiminnon päälle. Tarkistustoiminto voidaan myöhemmin asettaa päälle tai poistaa käytöstä painamalla MBD:n valikon kuvaketta Show tolerance status. Työkalu värittää kaikki kappaleen pinnat eri väreillä esittämään, onko pinta kokonaan mitoitettu. Vihreällä värillä merkityt pinnat ovat täydellisesti annotoitu, keltaisella merkityt tasot saattavat tarvita vielä jonkin mitan ollakseen täydellisesti mitoitettu ja punaiset tasot kertovat, että pinta on ylimitoitettu. Ne pinnat, jotka eivät värity ollenkaan, ovat täysin mitoitettamattomia.

Automaattityökalu onnistuu luomaan lähes kaikki testikappaleen geometriset merkinnät. Työkalu on kuitenkin jättänyt merkitsemättä muun muassa vinolla pinnalla olevien kolmen reiän pystyettäisyyden. Tämän lisäksi se on sijoittanut osan annotaatioista vasikeasti luettaville tasoille. Esimerkiksi kappaleen leveyden merkintä 80 mm leijuu ilmassa. Työkalun antama tulos ei ole siis täydellinen ja kattava, joten geometriatietoja täytyy asettaa ja siirtää myös manuaalisesti.

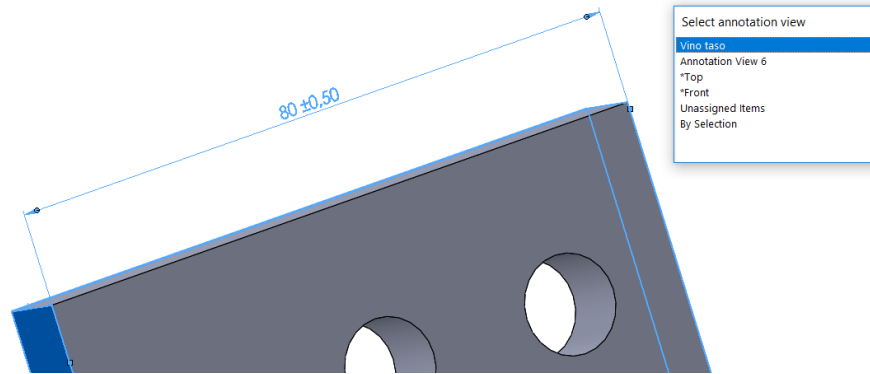
MBD:n valikossa on kuvake Smart Dimension, joka avaa kuvan 12 osoittaman valikon. Tästä valikosta voidaan valita, minkälaista geometriatietoa kappaleesta halutaan mitata. Ensimmäisenä listassa on DimXpert location dimension, jolla voidaan mitata sijainteja ja etäisyyksiä. Vastaavasti DimXpert size dimension on tarkoitettu muotojen, kuten reikien ja pyöristysten mittaamiseen. Listassa kolmantena ja neljäntenä olevat työkalut ovat käyttökohteiltaan samat kuin edellä mainitut, mutta mitatut geometriatiedot esitetään perusmittoina. Koska perusmittojen luominen on periaatteeltaan samanlainen, ei näiden työkalujen käyttöä esitellä yksityiskohtaisesti. Viimeisenä työkaluna listassa on mahdollisuus luoda referenssimittoja. Referenssimitat eivät näy lopullisessa esityksessä ja ovat vain apumittoja. Lukuun ottamatta referenssimittojen asettamista, Smart Dimension -valikossa oleville työkaluille löytyy myös pikakuvake MBD:n päävalikosta.



Kuva 12. MBD Smart Dimension valikko

Sijainnin merkitseminen MBD:llä tapahtuu Location Dimension työkalun avulla. Kappaleesta valitaan pinta tai särmä, josta mitta alkaa ja toinen pinta tai särmä, johon mitta loppuu. Työkalu antaa esikatselun annotaatiosta, ja asettaa sen sopivalle annotaatiotasolle.

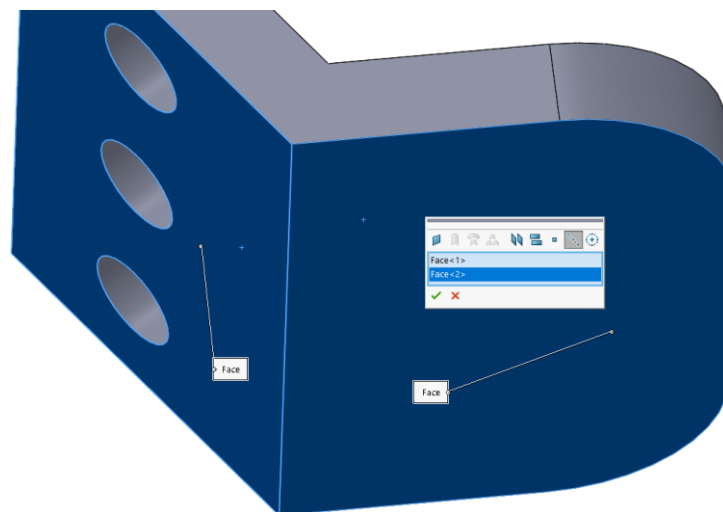
Jos MBD:n ehdottama taso annotaatiolle ei ole sopiva, voi tason vaihtaa aktivoimalla siirrettävä annotaatio, ja painamalla suomalaisella tietokonenäppäimistöllä pikanäppäintä \ddot{O} . Tämä tuo esiin valikon, josta annotaatio voidaan vaihtaa jollekin niistä annotaatiotasosta, joka kappaleelle on luotu. Vaihtoehtoisesti valikon saa auki hiiren oikealla näppäimellä aukeavasta valikosta. Kuvassa 13 MBD on asettanut testikappaleen leveyden 80 mm pystysuoralle tasolle. Annotaatioiden täytyy kuitenkin olla yhtenevällä tai kohtisuoralla tasolla viitattavaan kohteeseen, joten näppäimen \ddot{O} avaamasta valikosta valitaan Annotation View 1, joka on vinon pinnan suuntaiseksi luotu annotaatiotaso.



Kuva 13. Pituusmitan merkitseminen testikappaleen oikealle annotaatiotasolle

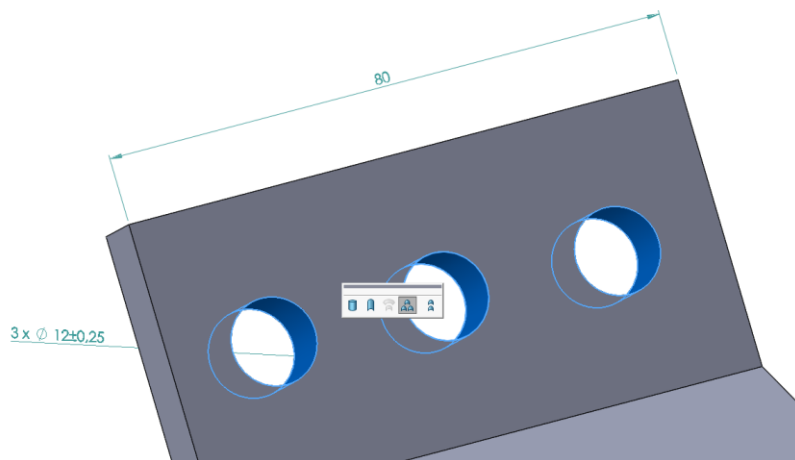
Kun annotaatio on asetettu järkevälle tasolle, voidaan tarvittaessa muuttaa annotaation sijaintia kappaleessa. Annotaation sijainti saadaan muutettua tarttumalla vasemmalla hiiren näppäimellä kuvassa 13 näkyvään annotaation pätyyn. Annotaation uusi sijainti valitaan viemällä hiiri toisen samansuuntaisen särmän päälle. Annotaation ollessa aktiivinen, avautuu vasemmalle valikko, josta voidaan muokata annotaation ulkonäköä. Muutettavia asetuksia on muun muassa toleranssien esittäminen, ylimääräisten merkkien ja tekstin lisääminen, sekä tekstin asettelu.

Location Dimension pystyy automaattisesti tarttumaan ainoastaan kohtisuorassa toisiaan vastaan oleviin särmiin. Koska testikappaleen kaksi annotoitavaa tasoa ovat 125 asteen kulmassa, joudutaan osan mitoista merkitsemiseksi luoda apuviiva. Kuvassa 14 on esitetty, kuinka kahden väritetyn pinnan välille luodaan leikkausviiva. Location Dimension työkalulla valitaan yksi pinnoista. Avautuvasta ikkunasta valitaan toinen vasemmalta oleva kuvake, leikkausviiva, ja valitaan toinen pinta, joiden välille leikkausviiva syntyy. Tapahtuman hyväksyttyä, voidaan geometriatietojen päätepisteenä käyttää myös luotua leikkausviivaa.



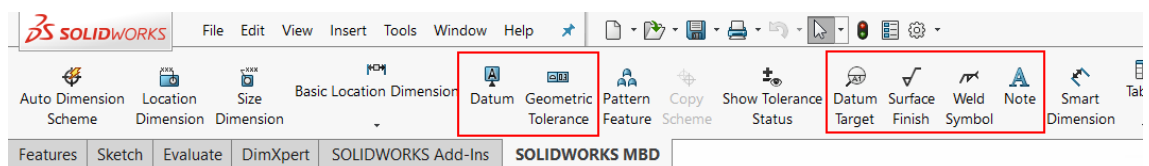
Kuva 14. Leikkausviivan luominen apuviivaksi annotaatioiden merkitsemiseksi.

Size Dimension on hyvin samanlainen käyttötavaltaan, kuin Location Dimension, mutta pituuksien sijaan sillä mitataan ja merkitään muotoja, kuten halkaisijoita ja kaarevuuksia. Työkalun aktivoitua, valitaan kappaleesta muoto, joka halutaan mitoitaa ja samalla tavalla kuin edellä annotaation taso voidaan valita. Kuvassa 15 on työkalua käytetty yhden kolmesta reiästä mittaamiseen. Kuvan alareunassa on näkyvillä lisävalikko, joka avautuu muotoja merkitessä. MBD on listannut siihen kaikki mahdolliset muodot, mitkä valittu muoto voisi olla. Kuvan reiän tapauksessa mahdollisuuksia ovat reikä, sylinteri, kuvio reikiä tai yhdistelmäreikä. MBD on automaattisesti tunnistanut, että reikiä on useita, ja valinnut valikosta kuvion. Jos annotaatio haluttaisiin tehdä koskemaan ainoastaan valittua reikää, voitaisiin tästä valikosta poistaa valinta kohdasta kuvio reikiä, ja sen sijaan valita reikä.



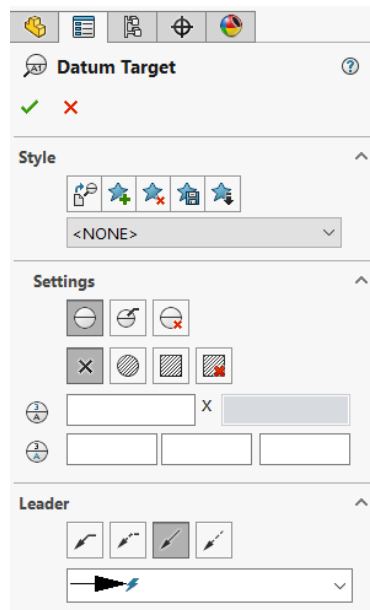
Kuva 15. Usean samanlaisen muodon mittojen merkitseminen MBD:llä

MBD:n työkalupalkin keskiosassa on omistettu toleranssitietojen ja muiden merkintöjen asettamiseen. Nämä työkalut on esitetty kuvassa 16 rengastettuina.



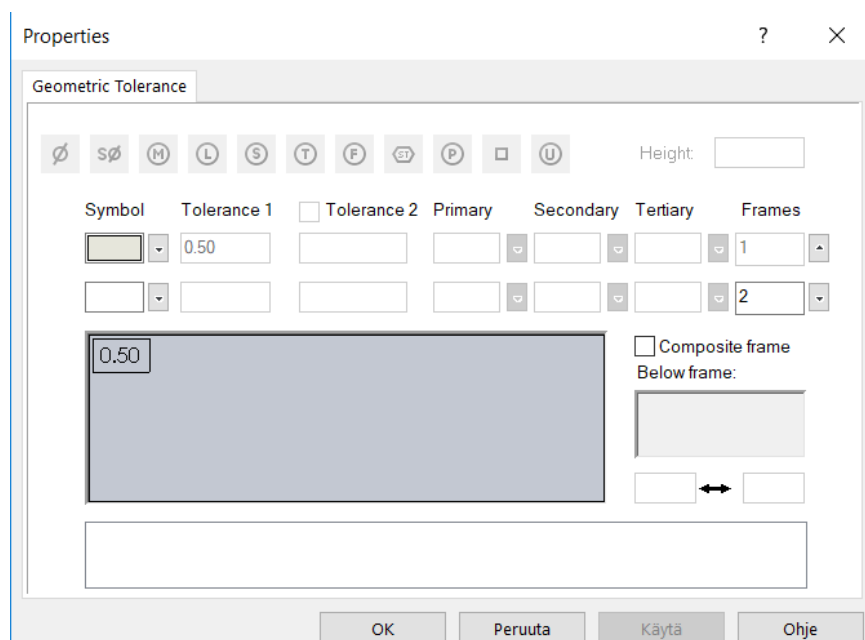
Kuva 16. MBD työkalupalkin toleranssitietojen ja muiden merkintöjen asettamisen

Ensimmäisellä työkalulla, Datum, voidaan kappaleen osia asettaa peruselementeiksi, joihin muiden piirteiden ominaisuuksia verrataan. MBD nimeää ensimmäisen peruselementin kirjaimella A. Tämä voidaan asettaa kappaleeseen valitsemalla hiiren vasemmalla näppäimellä sen sijainti. Työkalu luo automaattisesti uuden peruselementin käyttäen aakkosissa seuraavan vapaana olevaa kirjainta. Joskus peruselementti täytyy kohdistaa vain osalle pintaa. Tätä varten työkalurivissä on työkalu Datum Target. Tällä työkalulla voidaan kappaleen pintaan rajata nelikulmio, ympyrä tai piste. Kuvassa 17 on työkalun valikko, josta on mahdollista valita peruselementin muoto ja koko, sekä kirjoittaa vasteen sisältö.



Kuva 17. Valikko rajatun alueen peruselementtien luomiseen

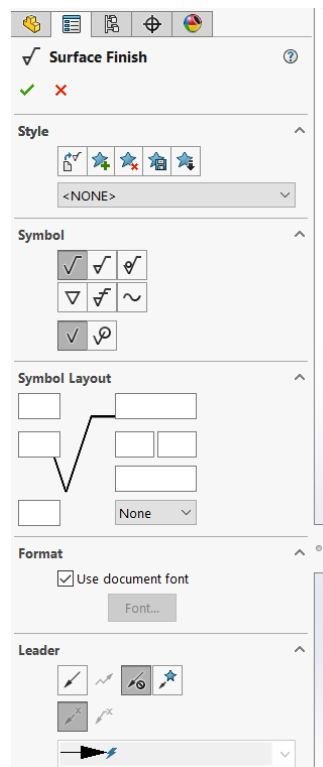
Geometrisiä toleransseja lisätessä käytetään MBD:n työkalua Geometric Tolerance. Tämä työkalu avaa kuvassa 18 esitetyn valikon, josta voidaan valita symboli, joka kertoo mitä toleranssi merkitsee, sekä itse toleranssin tarkkuus. Riippuen valitusta toleranssi-merkinnästä, avautuu työkalulla mahdollisuus yhdistää toleranssi vastaaviin peruselementtitietoihin. Pitämällä kursoria halutun symbolin päällä, kertoo SolidWorks, mitä toleranssitietoa symboli vastaa. Esikuvan valmiista toleranssiannotaatiosta näkee valikon isossa harmaassa laatikossa. Valmiin toleranssitiedon sijainnin voi osoittaa saman tapaan kuin edellä koskettamalla mallin haluttua kohtaa, sekä viivaelementin ulkoasua voidaan muokata erillisestä vasemman sivupalkin valikosta.



Kuva 18. Geometrysten toleranssien luomisen valikko

Geometristen toleranssien lisäksi voidaan sovelluksella lisätä annotaatioita valmistushuomioiden merkitsemiseksi. Yleisiä huomioita, joille ei erillisiä teknisiä merkintöjä löydy, voidaan kirjoittaa työkalulla Note haluttu teksti. Työkalulla luotu teksti voidaan asettaa joko kappaleen halutulle annotaatiotasolle, tai staattiselle tasolle asettamalla teksti kappaleen ulkopuolelle. Sijainnin valittua avautuu erilliseen ikkunaan tekstieditori, jolla voidaan kirjoittaa haluttu huomio.

Pinnan ominaisuuksien, ja hitsien merkitsemiselle löytyy MBD:stä erilliset työkalut. Työkalujen avaamat valikot näkyvät kuvista 19 ja 20. Molemmilla työkaluilla voidaan valmiiseen sapluunaan lisätä tarvittavat merkinnät tarvittavan annotaation luomiseksi. Kun annotaatio on luotu, voidaan se asettaa haluttuun sijaintiin.



Kuva 19. Valikko pinnan ominaisuuksien merkitsemiseksi

Properties ? X

ISO Weld Symbol

Groove Angle ☐ Inside

Root Opening

☐ 2nd fillet

Contour:

☐ Field/Site

☐ Peripheral

☐ Field/Site

Contour:

☐ Symmetric ☐ 2nd fillet

☐ Stagger Root Opening

☐ Identification line on top Groove Angle ☐ Inside

Font

☒ Use document font

Leader anchor:

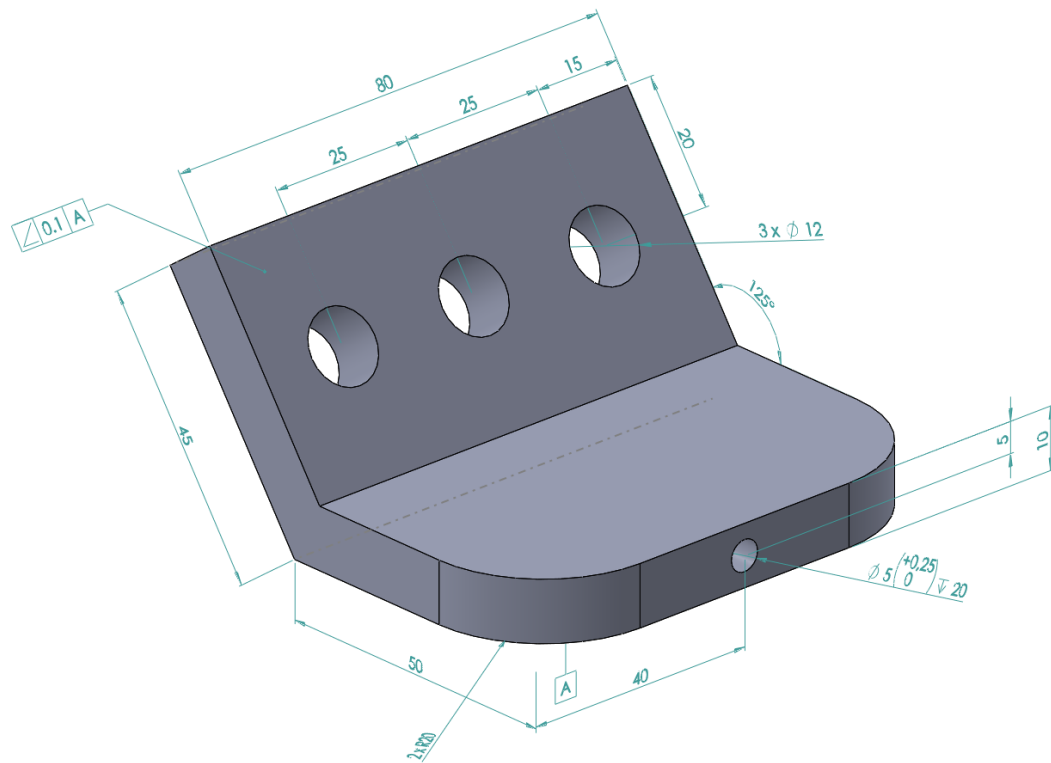
☐ Use multi jog leader ☒ Include this symbol in weld table

Style

☐ Reference

Kuva 20. Valikko hitsien merkitsemiseksi

Tämän kappaleen työkaluja käyttäen on testikappaleeseen saatu liitettyä halutut sitä määrittävät merkinnät. Valmiin testikappaleen näkee kuvasta 21.



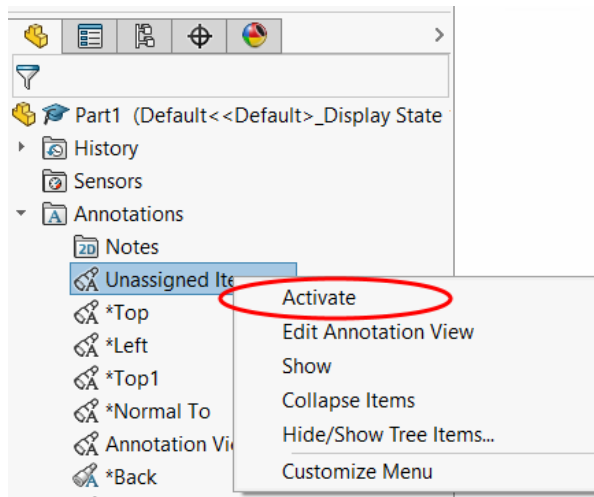
Kuva 21. Testikappale kaikki mitta- ja toleranssitiedot asetettuina

3.4 Kuvausmenetelmät

Annotaatiot, jotka kappaleeseen on lisätty, täytyy pystyä esittämään helposti luettavassa muodossa. Vaikka mallia pystytään katsomaan monesta suunnasta, pitäisi siitä pystyä näkemään kaikki annotaatiot katsottaessa ainakin yhdestä valitusta suunnasta (SFS-ISO 16792 2016, s. 19). Ennen kuin kuvaussuunta voidaan tallentaa, täytyy siis valita yksi kuvakulma, josta mahdollisimman suuri osa kappaleen annotaatioista olisi näkyvissä samalla kertaa. tästä kuvakulmasta katsottaessa mikään kirjoitettu annotaatio ei saisi olla mallin päällä, vaan sen ulkopuolella. Kuvaussuunta luodaan MBD:n valikon työkalulla Capture 3D View.

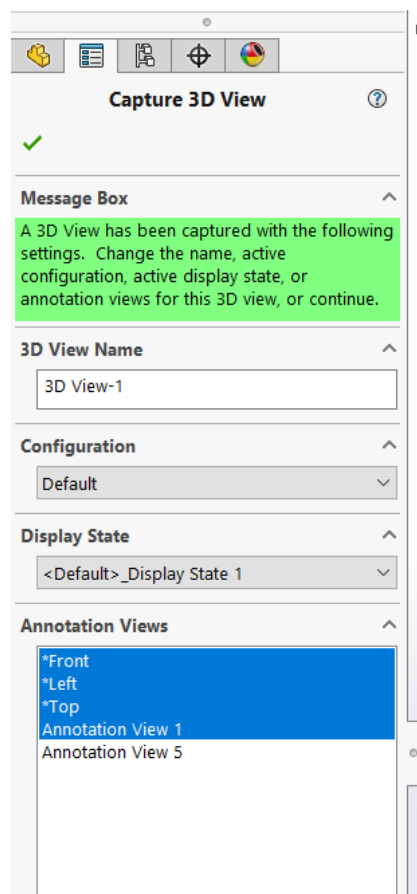
Työkalu tallentaa sen kuvasuunnan, mistä kappaletta ollaan kyseisellä hetkellä katso-
massa. Tämä tarkoittaa, että kuvakulma kannattaa olla valittuna jo ennen, kuin annotaatioita asettaa. Kolmiulotteisen kuvakulman lisäksi samalla työkalulla voidaan ottaa projektiokuvia asettamalla kuvakulma normaaliksi halutun sivun kanssa. Esimerkiksi kuvassa 21 on esitetty testikappale etuasemmalta siten, että kaikki annotaatiot on näkyvissä. Kattavan dokumentoinnin vuoksi on hyvä esittää malli muistakin kuvaussuunnista.

Kuvaussuuntaa tallentaessa MBD asettaa aktiivisella annotaatiotasolla olevat annotaatiot automaattisesti kuvaan. Jotta kuvan annotaatiot voidaan manuaalisesti valita kaikkien annotaatioiden joukosta, on hyvä aktiiviseksi tasoksi asettaa kuvan 22 osoittama taso.



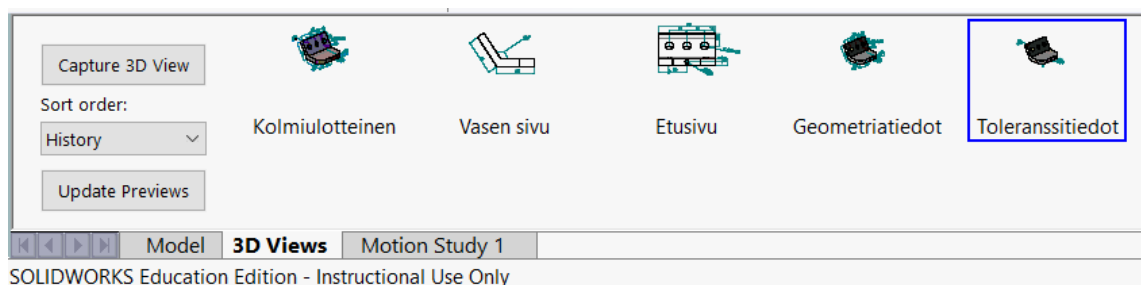
Kuva 22. Annotaatiotason *Unassigned Items* asettaminen aktiiviseksi

Kun sopiva kuvakulma on valittu, voidaan työkalu aktivoida ja saadaan näkyviin kuvan 23 esittämä valikko.



Kuva 23. Kolmiulotteisen kuvakulman luomisen valikko

Tästä valikosta ensimmäinen muutettava kohta on kuvaussuunnan nimi. Kuvaussuuntien nimeämistyyliä ei ole määrätty, mutta sen täytyy olla ymmärrettävä. Jos kappaleelle on luotu eri konfiguraatioita, voidaan haluttu konfiguraatio määrittää myös samasta valikosta. Viimeisenä valikon toimintona voidaan määrittää minkä kaikkien annotaatiotasojen annotaatiot ovat näkyvissä kyseisessä kuvakulmassa. Kolmiulotteisesta pääsuunnasta kaikkien annotaatiotasojen tulisi olla näkyvissä, mutta muun muassa projektiokuvia kuvatessa on hyvä valita aktiivisiksi ainoastaan ne annotaatiotasot, jotka ovat projektion suuntaisia. Kun kuvaussuunta on luotu ja konfiguroitu, ilmestyy se SolidWorksin alapalkin kohtaan 3D Views kuvassa 24 esitetyllä tavalla. Luodun kuvaussuunnan saa uudelleen aktiiviseksi tuplaklikkaamalla sen kuvaketta. Tällöin malli orientoituu valittuun kuvaussuuntaan ja ainoastaan valitut annotaatiot ovat näkyvillä.



Kuva 24. Testikappaleesta luotuja kuvaussuuntia SolidWorksin alapalkissa

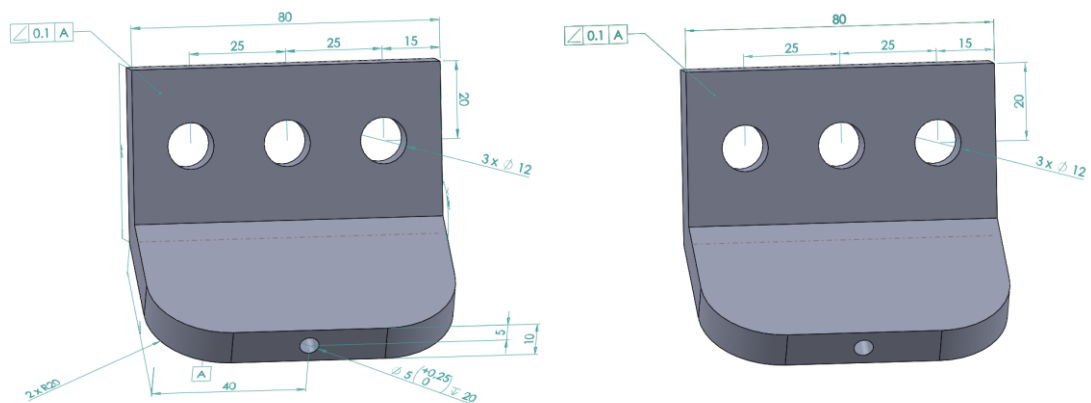
Tavallisten kuvausten lisäksi löytyy MBD:stä aputyökaluja, joilla kuvauksista saadaan näkymään enemmän tärkeää tietoa. Näillä työkaluilla voidaan muokata, miltä malli kuvan tallennushetkellä näyttää. Lopullinen kuva otetaan kuitenkin aina samalla työkalulla, Capture 3D View.

Ensimmäinen näistä työkaluista mahdollistaa poikkileikkausten kuvaamisen. Leikkauksien luominen MBD:llä toteutetaan työkalulla Section View. Tällä työkalulla voidaan valita mallipuusta haluttu taso, jonka suuntaisesti leikkaus toteutetaan. Kuvasta 25 näkee, kuinka työkalua on käytetty testikappaleessa näyttämään sen sisälle poratun reiän poikkileikkaus. Kuvan 25 poikkileikkauskuvaa tallentaessa on mallin kuvaustyyli valittu esittämään ainoastaan mallin muotojen ääriveriivat. Profiilikuvista muodot on helpompi erottaa, kun näkyvissä on ainoastaan mallin ääriveriivat.

3.5 Tiedon esittäminen ja julkaisu

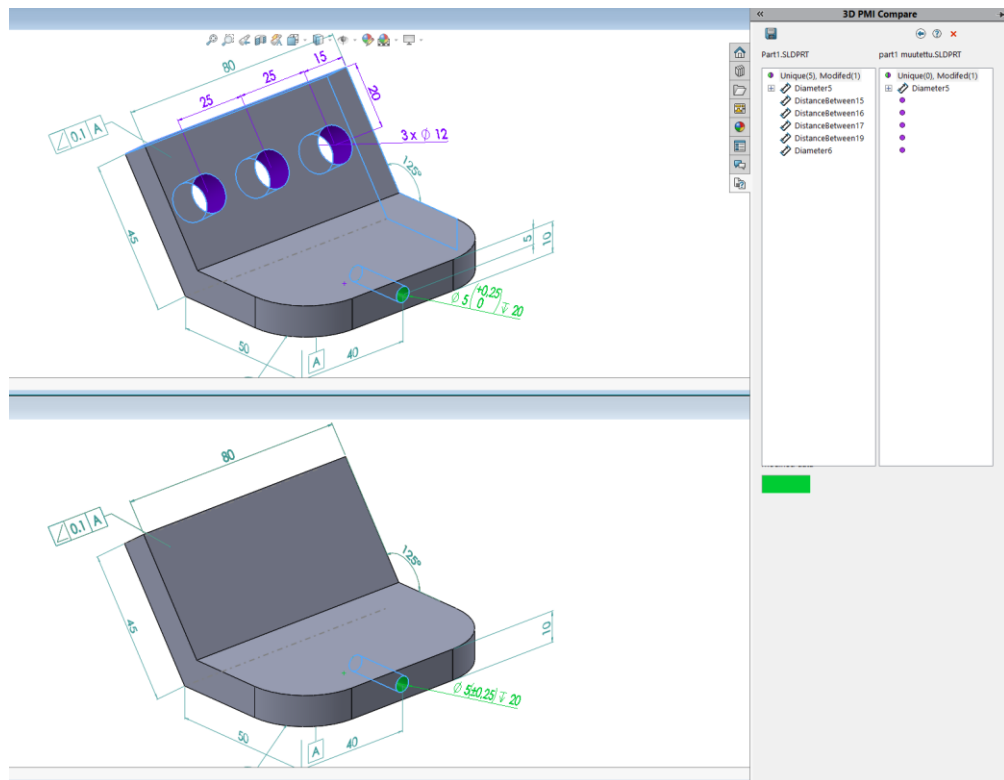
Luvussa 3.3 malliin luodut, ja sitä määrittävät merkinnät tallentuvat yhdessä mallin kanssa samaan tiedostoon. Erinäisiin tarkoituksiin kuitenkin vaaditaan, että malliperustaisen tuotemäärittelyn tiedot saadaan siirrettyä pois SolidWorksista muissa ohjelmissa luettaviksi. MBD mahdollistaa tiedon viemisen kolmeen eri tiedostoformaattiin. Nämä tiedostoformatit ovat 3D PDF, STEP-tiedosto sekä ePart-tiedosto.

Yksityiskohtaisin tapa tutkia ja esittää mallin tietoja on natiivi SolidWorks-tiedosto. MBD:n valikosta voidaan asettaa päälle dynaaminen annotaationäkymä. Kun mallia pyöritellään työkalun ollessa käytössä, MBD häivyttää kuvakulmaan nähden erisuuntaisten annotaatiotasojen sisällön pois näkyvistä. Suodattamalla näytöllä näkyvien annotaatioiden määrä, saadaan mallin osista helpommin luettava. Kuvassa 27 testikappale on esitetty lähes kohtisuorassa vinoon tasoon nähden siten, että oikeanpuolisessa mallissa dynaaminen annotaationäkymä on asetettu päälle.



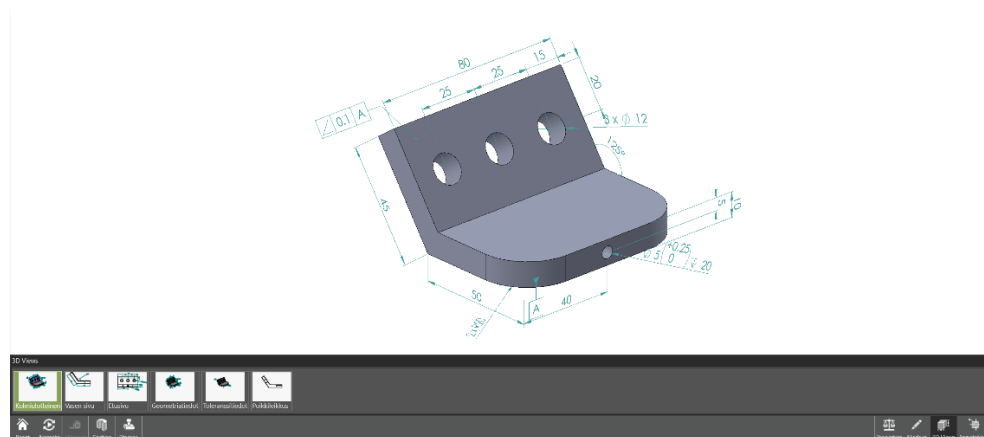
Kuva 27. Eroavaisuudet testikappaleen tarkkailussa dynaaminen annotaationäkymä asetettuna päälle tai pois.

Mallin esittäminen SolidWorksissä mahdollistaa kappaleen määrittävien mittojen ja merkintöjen vertailun toisen mallin kanssa. Tämä toteutetaan MBD:n työkalupalkin työkalulla 3D PMI Compare. Tietojen vertailu helpottaa eroavaisuuksien löytämistä samanlaisien kappaleiden välillä. Testikappaleesta luotiin toinen versio, josta kolme reikää on poistettu ja sisään poratun reiän toleranssia on muutettu. Kuvassa 28 on esitetty kappaleiden vertailutulos. Työkalu tunnistaa kappaleiden väliset eroavaisuudet, sekä esittää ne värikoodattuina. Vihreät merkinnät esittävät tietoa, joka eroavat kappaleiden välillä, kun taas violetit merkinnät kertovat toiselle kappaleelle uniikista piirteestä. Kuvan 28 oikealla olevasta valikosta voidaan tarkentaa kamera muokattuihin kohteisiin tarkempaa tutkimusta varten.



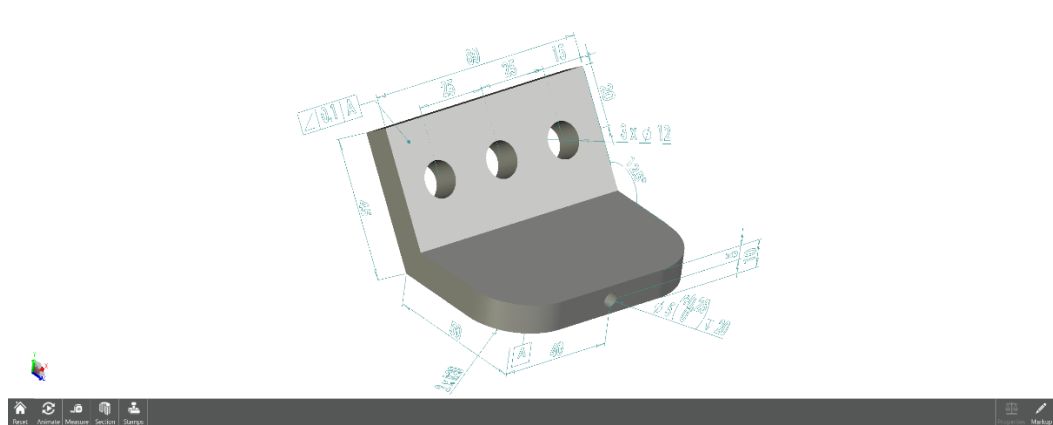
Kuva 28. Kahden kappaleen tietojen vertailu

SolidWorksin ulkopuolisista tiedostoformaateista kattavin on ePart. Se on tiedosto, joka voidaan avata Dassault Systèmesin ohjelmalla eDrawings. Tiedoston luomisprosessi on yksinkertainen. Kuvakkeen painamisen jälkeen ohjelma luo tiedoston, joka sisältää mallin ja sen merkinnät. Tiedosto avautuu automaattisesti eDrawings-ohjelmassa, jos se on tietokoneelle asennettu. EDrawings mahdollistaa mallin tutkimisen kaikissa osa-alueissa samalla tavalla kuin se olisi avattu SolidWorksillä, mutta estää mallin muokkaamisen. Koskettamalla mallissa olevaa annotaatiota, korostuu mallista muodot, jota kyseinen annotaatio mittaa. Annotaatiot tallennetaan tiedostoon käyttäen samoja annotaatiotasoja, joka mahdollistaa eri kuvaussuuntien näyttämisen, sekä haluttujen annotaatiotasojen piilottamisen mallia tutkissa. Kuvassa 29 on esitetty testikappale avattuna eDrawingsissa.



Kuva 29. Testikappaleesta luotu ePart-tiedosto avattuna eDrawings-ohjelmassa

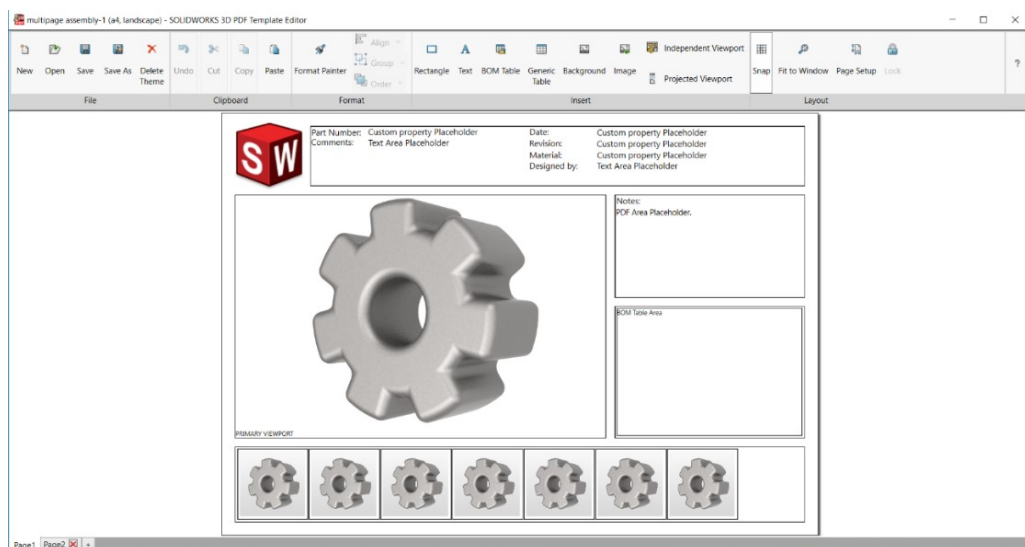
Tiedostoformaatti STEP-242 on ISO 10303 standardin määrittelemä (Rapinoja 2016, s-11). Tiedostoformaatti on universaali ja mahdollistaa MBD:llä luodun tiedon avaamisen muissa sitä tukevilla CAD-ohjelmistoissa. Kuvassa 30 se on avattu eDrawingsissa, jotta tiedostoformaatin eroja voidaan verrata SolidWorksin omaan tiedostomuotoon.



Kuva 30. Testikappaleesta luotu STEP-242 tiedosto avattuna eDrawings-ohjelmassa

Molemmat tiedostomuodot avautuvat hyvin samanlaisina lukuun ottamatta fonttimuutosta. Eroja näiden välillä kuitenkin löytyy. STEP-242 ei tunne kappaleelle luotuja kuvaussuuntia, eikä anna tietoutta eri annotaatiotasosta.

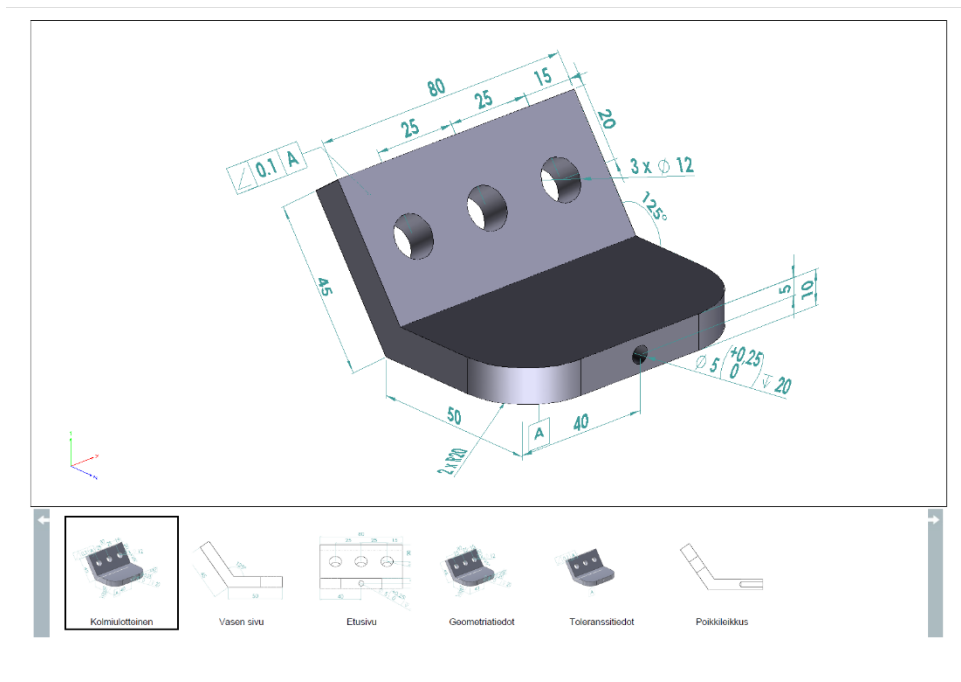
Viimeinen tiedostoformaatti, johon tiedot MBD:stä voidaan siirtää, on 3D PDF. Tämän tiedostoformaatti voidaan avata useimmilla ohjelmilla, jotka pystyvät avaamaan tavallisia PDF-tiedostoja. Tämä tekee formaatista helpoimman avata riippumatta käytettävästä laitteesta. Tiedostoformaatti mahdollistaa myös luotujen kuvaussuuntien tulostamisen. MBD sisältää monta valmista pohjaa, joille malli voidaan sijoittaa, sekä mahdollisuuden luoda omia pohjia, johon tietoja voi sijoitella. Kuvassa 31 on esillä työkalu oman pohjan luomiseksi.



Kuva 31. Työkalu 3D PDF pohjan luomiseksi

Työkalu antaa mahdollisuuden muokata MBD:n valmiita pohjia, tai luoda täysin oman pohjan. Työkalulla voidaan muokata muun muassa kuvien sijaintia ja kokoa, tekstikenttiä, sekä kuvia ja taulukoita, joita kuvaan halutaan liittää.

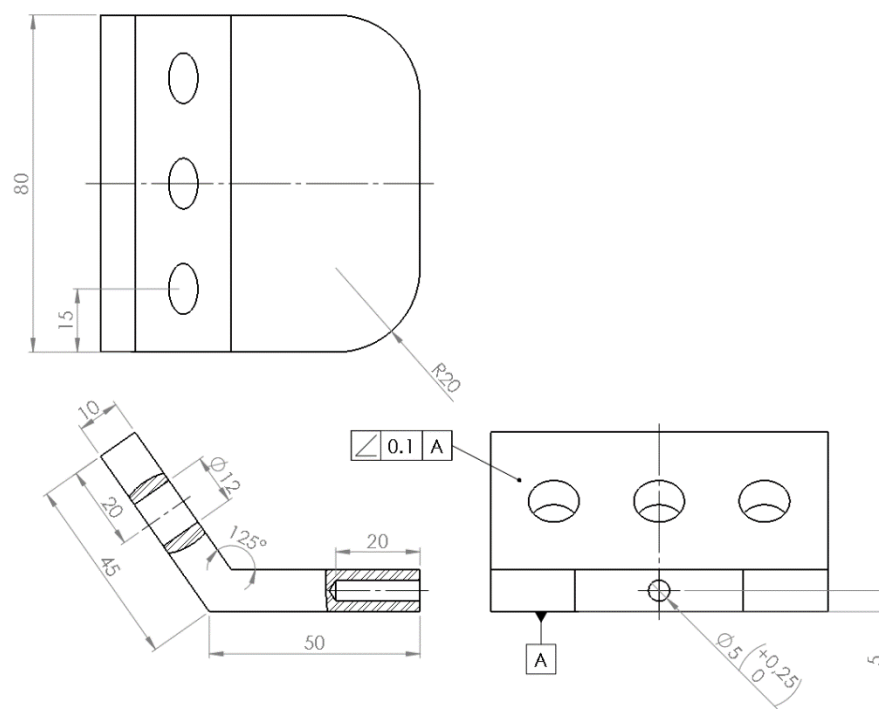
PDF:ää julkaistaessa valitaan haluttu pohja, sekä luoduista kuvaussuunnista ne, jotka PDF:ään halutaan liittää. Tallennetun PDF:n voi avata sopivalla ohjelmalla. Kuvassa 32 testikappaleesta luotu PDF on avattu käyttäen ohjelmaa Acrobat Reader DC. Interaktiivisilta toiminnoiltaan PDF on muihin tiedostoformaatteihin verrattuna vajavainen. Toisin kuin muut tiedostoformaatit, annotaation valitseminen ei korosta aluetta, johon annotaatio viittaa. PDF tukee kuitenkin kuvaussuuntia, joihin STEP-242 ei kykene.



Kuva 32. Testikappaleesta luotu 3D PDF-tiedosto avattuna Acrobat Reader DC:llä

4. EROAVUUDET KAKSIULOTTEISIIN PIIRUSTUKSIIN

Tekniset piirustukset ovat yhä yleisin tapa esittää tuotemäärittelytietoa. Malliperustaista tuotemäärittelyä täytyy siis ominaisuuksiltaan ja käytettävyydeltään verrata teknisiin piirustuksiin, jotta voidaan luoda käsitys käytäntöjen paremmuudesta. Vertailua vasten on SolidWorksilla luotu tekninen piirustus käytetystä testikappaleesta. Piirustus on esillä kuvassa 33.



Kuva 33. testikappaleesta luotu tekninen piirustus

4.1 Dokumentaation luomisen erot

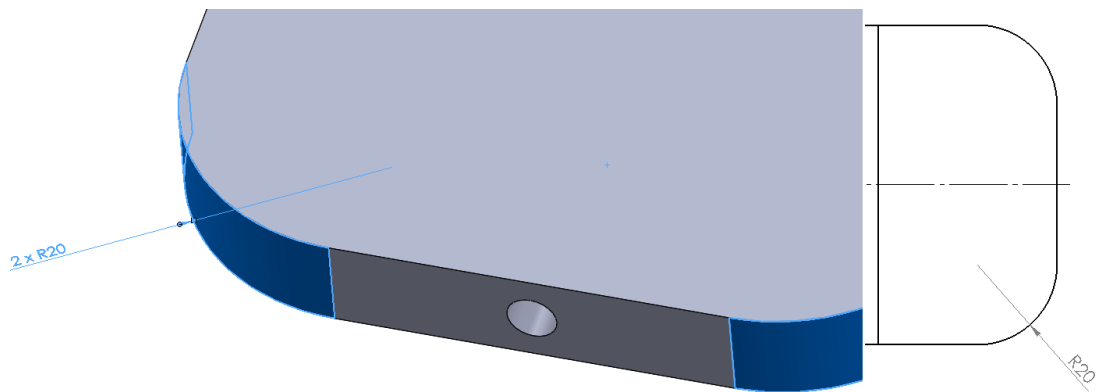
Käytettävyydeltään SolidWorks MBD lainaa monia toimintojaan muista SolidWorksin ohjelmista. Muun muassa geometriatietojen lisääminen on toteutettu lähes kokonaan käyttäen DimXpertä, sekä toleranssi- ja muiden merkintöjen lisäämisen valikot ovat samanlaiset, kuin teknisiä piirustuksia luodessa. Tämä tekee ohjelman opettelusta yksinkertaisen, jos käyttäjällä on edeltävää kokemusta mallintamisesta SolidWorksillä.

Dokumentaation luomisessa MBD:llä löytyy kuitenkin myös etuja teknisiin piirustuksiin. MBD:llä on mahdollista siirtää yhtenevät annotaatiot saman kappaleen eri konfiguraatioihin, jolloin vain yhden konfiguraation annotointi riittää. Lisäksi MBD:n tarkistustyökalun kyky ilmoittaa mitkä piirteet ovat jo mitoitettu vähentää virheitä ja vajavaisuuksia valmiissa määrittelyssä.

4.2 Teknisen tuotemäärittelyn esittämisen erot

Tärkeimpänä etuna Geometria- ja toleranssitietojen esittäminen kolmiulotteisessa mallissa on kokonais kuvan parempi hahmottaminen ja täten dokumentin nopeampi lukeminen (Dassault Systèmes 2016, s. 5). Kaikki tiedot mallista esitetään samassa kohteessa, joka helpottaa piirteiden paikantamisessa. Esimerkiksi muotojen sijainnin paikantaminen on selkeämpää, sillä mittoja ei tarvitse katsoa erillisistä projektioista.

MBD hyödyntää kaikessa mahdollisessa teknisille piirustuksille tyypillistä annotaatioiden merkintätapaa ja ulkonäköä. Kuvantoja käyttämällä MBD:n tuottama tuotemäärittelytieto voidaan esittää samanlaisina projektioina, kuin tekniset piirustukset. Merkinnöissä eroja löytyy lähinnä symmetrian ja kuvioiden merkitsemisessä. MBD osaa automaattisesti tunnistaa mallista samanlaisia muotoja, ja yhdistää näiden annotaatiot yhteen, lukumäärän ilmaisemaan annotaatioon. Kun luotu annotaatio aktivoidaan, maalaa se kaikki samat muodot mallista tehden muotojen löytämisestä helpompaa. Teknisissä piirustuksissa toistuvia piirteitä pyritään yksinkertaistamaan piirtämällä symmetriaviivoja. Mitat merkitään vain symmetriaviivan toiselle puolelle. Annotaation aktivoiminen ei teknisissä piirustuksissa erillisesti ilmoita mihin kaikkeen se viittaa. Eri tavat on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Testikappaleen pyöristykset esitettynä sekä MBD:llä, että teknisessä piirustuksessa

Paljon annotaatioita sisältävissä malleissa annotaatioiden erottaminen toisistaan voi olla vaikeaa. Asiasta tehdyn tutkimuksen mukaan annotaatioiden organisointi ja suodattaminen nopeuttaa selvästi dokumentin luettavuutta. Tutkimuksen mukaan paras tapa dokumentin lukemiseen olisi lukijan oma mahdollisuus suodattaa ilmoitettua tietoa piirteiden ja hakusanojen avulla. (Camba et al. 2014)

Luettavuuden parantamiseksi MBD voi organisoida tietoa kuvakulman perusteella käytämällä dynaamista annotaatiokuvantoa, tai manuaalisesti luomalla omia kuvantoja, jotka mahdollistavat yksityiskohtien ja tärkeämpien mittojen esittämisen. Tietojen organisointi kuvannoilla rajoittuu kuitenkin dokumentin luojaan ennalta määrittämiin kuvantoihin. MBD:llä ei voida suodattaa tietoja lukijan omien hakusanojen mukaan.

4.3 Yleinen käytettävyys

Monella tapaa SolidWorks MBD on pyrkinyt tekemään ohjelman käytöstä mahdollisimman samanlaisen mallien luomisen kanssa. Kuten luvuissa 4.1 ja 4.2 on mainittu, MBD sisältää kuitenkin ominaisuuksia, jotka tekevät sen käytöstä osittain hankalamman, kuin teknisen piirustuksen piirtäminen.

Yksi malliperustaisen tuotemäärittelyn luomisen pääeduista teknisiin piirustuksiin on se, ettei erillistä piirustusta tarvita. Koska tuotemallinnus luodaan pääasiassa kolmiulotteisina malleina, merkintöjen liittäminen suoraan malliin vähentää vaadittavien dokumenttien määrää. Vain yhden dokumentin luominen ja ylläpitäminen säästää aikaa luomisprosessissa. (Rapinoja 2016, s. 8.). Muun muassa Boeing käytti malliperustaista tuotemäärittelyä T-45 suihkulentokoneen osien uudelleensuunnittelussa, ja havaitsi 62% nopeamman suunnitteluajan, sekä 42% vähennyksen valmistuskuissa (Price 1998).

Asia, mistä MBD, ja yleisesti kaikki malliperustaisen tuotemäärittelyn ohjelmat kärsivät, on esitysmuodon pieni yleisyys ja luettavuuden tuki. Tiedoston avaaminen vaatii aina erillisen, sille suunnitellun ohjelman. Moni lukuohjelma vaatii myös erillisesti kyseiselle ohjelmalle suunnatun tiedostomuodon. Teknisten piirustusten kaksiulotteinen esitystapa mahdollistaa niiden helpon tallentamisen kuvatiedostoina. Kuvatiedoston voidaan avata lähes millä laitteella tahansa, sekä tiedot voidaan halutessa tulostaa paperille.

Parhaimpaan käyttökokemukseen MBD:llä päästään, jos kaikki tahot, jotka vaativat pääsyn mallin tietoihin, voivat avata tiedoston joko SolidWorksissa, tai eDrawings-ohjelmalla. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista. MBD tukee kahta tiedostoformaattia, joilla voidaan tietoa siirtää muihin, kuin Dassault Systèmesin luomiin ohjelmiin. Yhteensopivuutta varten luotu yleinen tiedostoformaatti STEP-242 pystyy siirtämään valmistustietoja, mutta koska se ei säilytä tallennettuja kuvantoja, ovat sen luomat mallit usein vaikeasti luettavia. 3D-PDF on toisaalta helpommin luettava, mutta sen luomaa mallia ei voida käyttää muihin tarkoituksiin, kuten mallin analysointiin tai ohjeina digitaalisessa valmistuksessa. Tietojen vajavaisuus voi toisaalta olla myös etu, jos halutaan rajoittaa luottamuksellisen tiedon leviämistä (Quintana et al. 2010, s. 501).

Koska kaiken kattava yleinen tiedostomuoto ei ole vielä vakiintunut, pahimmassa tapauksessa vanhan mallin tiedot saatetaan menettää kokonaan. Tämän estämiseksi tietojen säilyttämistä varten eri teollisuuden aloilla on meneillään projekteja, joilla mallipohjaista tietoutta voitaisiin yhteisellä tavalla säilyttää. (Brunsmann 2012)

5. YHTEENVETO

Malliperustainen tuotemäärittely on konseptina uusi eikä vielä laajasti käytetty teollisuudessa. Suurimmat syyt tähän on teknologian nuoruus ja vanhoihin tapoihin tottuminen. SolidWorks MBD onnistuu täyttämään standardien vaatimukset malliperustaisen tuotemäärittelyn luomisessa ja esittämisessä ja täten mahdollistaa sen käytön yleistymisen.

Teknisten piirustusten korvaajana ohjelmalla voidaan säästää aikaa ja resursseja suunnitteluprosessissa. Luodusta dokumentaatiosta on helpompi saada parempi kokonaiskuva kolmiulotteisesta mallista, sekä hahmottaa mihin kaikki annotaatiot viittaavat. Eri kuvantoja käyttämällä tuotemäärittelytietoa voidaan suodattaa ja tärkeitä tietoja mallista voidaan korostaa.

Tällä hetkellä tuotemäärittelytiedon kuvaamisen valmistusprosessi SolidWorksillä kestää kauemmin MBD:llä, kuin teknisten piirustusten luominen. Ohjelma ei ole vielä täydellinen, vaan vaatii yksinkertaisissa tehtävässä lopputuloksen kannalta turhien lisätoimenpiteiden, kuten apugeometrioiden ja annotaatiotasojen luomista. Luomisprosessiin kuluva aika kompensoituu kuitenkin tietojen luettavuudessa ja monikäyttöisyydessä.

LÄHTEET

ASME Y14.41 (2003). Digital Product Definition Data Practices, ASME, American Society of Mechanical Engineers, New York.

Brunsmann J., Wolfgang W., Schlageter G. & Hemmje M. (2012). State-of-the-art of long-term preservation in product lifecycle management, *International Journal on Digital Libraries*, Vol. 12(1), pp. 27–39. Saatavissa (viitattu 16.9.2018.): <https://link.springer.com/article/10.1007/s00799-012-0081-4>.

Camba, J., Contero, M. & Johnson, M. (2014). Management of Visual Clutter in Annotated 3D CAD Models: A Comparative Study, Springer International Publishing, Cham, pp. 405-416.

Dassault Systèmes (2016). Improve Quality, Efficiency and Reduce Costs with MBD, Dassault Systèmes, Saatavissa (viitattu 25.3.2018): <https://www.solidworks.com/media/improve-quality-efficiency-and-reduce-costs-mbd>.

Peddie, J. (2013). The History of Visual Magic in Computers: How Beautiful Images Are Made in Cad, 3D, Vr and Ar, 1st ed. Springer, London, 448 p.

Price A.M. (1998). Virtual Product Development Case Study of the T-45 Horizontal Stabilator, Proceedings of the 39th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference and Exhibit, Long Beach, CA, USA, April 20–23, 1998, AIAA, USA, pp. 3041–3051.

Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., Venne, F. & Kheddouci, F. (2010). Will Model-Based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry, *Computers in Industry*, Vol. 61(5), pp. 497–508. Saatavissa (viitattu 4.4.2018): <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361510000060>.

Rapinoja, J. (2016). Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet, METSTA, Saatavissa (viitattu 4.4.2018): http://www.metsta.fi/ajankohtaista/Uutisia/MBD_Raportti_2016.pdf.

SFS-ISO 16792 (2016). Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt, 2. painos, Suomen standardoimisliitto, Helsinki, 226 s.